



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE – UFS
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA AMBIENTAL

**GEOPROCESSAMENTO APLICADO NA ANÁLISE DA
FRAGILIDADE AMBIENTAL DA BACIA HIDROGRÁFICA
DO RIO JAPARATUBA – SE**

Lizza Adrielle Nascimento Santos

SÃO CRISTOVÃO, 2019



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE – UFS
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA AMBIENTAL

GEOPROCESSAMENTO APLICADO NA ANÁLISE DA FRAGILIDADE AMBIENTAL DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO JAPARATUBA - SE


Trabalho final apresentado ao Departamento de Engenharia Ambiental da Universidade Federal de Sergipe, como parte integrante dos requisitos para obtenção de título de Bacharel em Engenharia Ambiental e Sanitária.

Paulo Sérgio de Rezende Nascimento


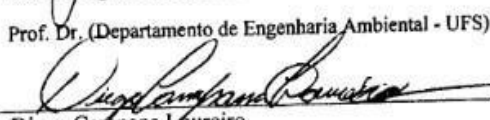
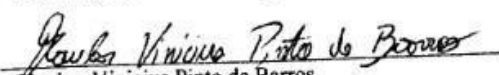
Orientador

Lizza Adrielle Nascimento Santos

Trabalho apresentado e aprovado em 15 de março de 2019 pelo Departamento de Engenharia Ambiental da Universidade Federal de Sergipe para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Ambiental e Sanitária.


Paulo Sérgio de Rezende Nascimento
Orientador

BANCA EXAMINADORA:


Paulo Sérgio de Rezende Nascimento
Prof. Dr. (Departamento de Engenharia Ambiental - UFS)
Diego Campana Loureiro
Prof. Dr. (Departamento de Engenharia Agrícola - UFS)
Glauber Vinicius Pinto de Barros
Engenheiro Ambiental e Sanitarista e Mestrando
(Programa de Pós-Graduação em Meteorologia - UFAL)

GEOPROCESSAMENTO APLICADO NA ANÁLISE DA FRAGILIDADE AMBIENTAL DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO JAPARATUBA – SE

RESUMO

O presente trabalho teve como objetivo geral avaliar a fragilidade ambiental potencial e emergente da Bacia Hidrográfica do Rio Japaratuba (BHRJ) no estado de Sergipe, visando definir o grau de sensibilidade do meio ambiente com relação aos fenômenos espontâneos e das intervenções humanas por meio de unidades ecodinâmicas. Os procedimentos técnicos empregados foram, basicamente, método do Processo de Análise Hierárquica – AHP e álgebra de mapas. O método AHP foi empregado com o intuito de permitir a ponderação e a hierarquização segundo ordem de prioridade das variáveis utilizadas para a análise da fragilidade ambiental potencial da BHRJ e a álgebra de mapas foi empregada a fim de realizar a integração dessas variáveis gerando como produtos os mapas de Fragilidade ambiental potencial e emergente. Os resultados obtidos foram três classes de unidades ecodinâmicas, a saber: estáveis (13,44%), *intergrades* (71,45%) e instáveis (15,11%), a partir da análise da fragilidade ambiental da área de estudo. Conclui-se que a intervenção antrópica influenciou significativamente na fragilidade ambiental da BHRJ, mostrando a urgência de alternativas sustentáveis para o reestabelecimento do equilíbrio geodinâmico exógeno, a partir da adoção de práticas conservacionistas. O uso da técnica AHP somada a álgebra de mapas para elaboração do mapeamento da fragilidade ambiental se mostraram eficazes, uma vez que o AHP minimiza a ocorrência de erros na determinação dos pesos para as variáveis utilizadas e a álgebra de mapas realizada todo processo de integração, o que facilitou a elaboração do mapeamento. A sistemática adotada gerou um documento técnico-gerencial de subsídio de manejo do uso e ocupação do solo e dos recursos hídricos superficiais para a área de estudo.

Palavras-chave: Geodinâmica exógena. Unidade ecodinâmica. Sustentabilidade ambiental.

ABSTRACT

The present work had as general objective the potential and emergent environmental fragility of the Japaratuba River Basin (BHRJ) in the state of Sergipe, aiming at the definition of standards of the tests. The tests were basically the Hierarchical Process - AHP and algebra of maps. The AHP method was used in order to allow the weighting and hierarchy according to the order of the variables used for an analysis of the potential environmental fragility of the BHRJ and the map algebra was used to perform the integration of the variables generating as products maps of potential and emerging environmental fragility. The results obtained are three classes of ecodynamic units, one saber: stable (13.44%), *intergrades* (71.45%) and unstable (15.11%), based on the analysis of the environmental fragility of the area of study. It concluded that anthropogenic intervention influenced the environmental fragility of the BHRJ, presenting an urgency of alternatives for the restoration of exogenous geodynamic balance, from the adoption of conservationist practices. The use of the AHP technique is a map algebra for the mapping of the environmental fragility, since AHP minimizes the occurrence of errors in determining the weights for the necessary variables and the map algebra performs the integration process, which facilitated the elaboration of the mapping. The adopted systematics generated a technical document of subsidy of management of the use and the occupation of the soil and of the superficial water resources for a study area.

Keywords: Exogenous geodynamics. Ecodynamic unit. Environmental sustainability.

SUMÁRIO

| | |
|---------------------------------------|----|
| 1. INTRODUÇÃO | 6 |
| 2. METODOLOGIA | 8 |
| 2.1 - ÁREA DE ESTUDO | 8 |
| 2.2 – PROCESSAMENTO DIGITAL | 8 |
| 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO | 14 |
| 3.1 - ERODIBILIDADE | 14 |
| 3.2 - DECLIVIDADE | 16 |
| 3.3 - HIPSOMETRIA | 17 |
| 3.4 – EROSIVIDADE DA CHUVA | 18 |
| 3.5 - COBERTURA DO SOLO | 19 |
| 3.6 - FRAGILIDADE AMBIENTAL POTENCIAL | 21 |
| 3.7- FRAGILIDADE AMBIENTAL EMERGENTE | 22 |
| 3.8 - UNIDADES ECODINÂMICAS | 23 |
| 4. CONCLUSÃO | 25 |
| REFERÊNCIAS | 26 |

1. INTRODUÇÃO

Tricart (1977), com o intuito de analisar a perspectiva ambiental, propôs a análise morfodinâmica da paisagem a partir dos princípios ecodinâmicos, pela identificação do grau de estabilidade e/ou instabilidade morfodinâmico do meio natural e antrópico. A ideia está integrada no conceito de ecossistemas, onde o ponto de partida é a relação entre os processos de morfogênese e pedogênese. Quando predominam os processos pedogenéticos, têm-se os meios estáveis, apresentando equilíbrio dinâmico natural. Em oposição, têm-se os meios instáveis, quando predominam os processos morfogenéticos, intensificados pela interferência antrópica, cuja consequência extrema é a quebra da resiliência. Entre estas duas classes morfodinâmicas têm-se os meios intermediários (*intergrade*).

Ross (1994), visando inserir novos critérios à análise das unidades ecodinâmicas de Tricart (1977), propôs o conceito de fragilidade ambiental, que é a potencialidade intrínseca e/ou extrínseca do meio ser transformado pela alteração do estado de equilíbrio dinâmico, desestabilizando o sistema. A fragilidade dos ambientes naturais face às intervenções humanas é maior ou menor em função das características inerentes do meio e do tipo e grau de intervenção. De acordo com Ross (1994), a fragilidade ambiental é dividida em fragilidade potencial e emergente. A fragilidade potencial ocorre a partir dos processos morfogenéticos atuantes na paisagem, correlacionando os componentes físico-naturais da paisagem como a erodibilidade do solo/rocha, declividade do terreno e erosividade das chuvas. Por outro lado, o autor, define a fragilidade emergente como a superposição das informações do uso do solo à fragilidade potencial. Esses conceitos correspondem às de susceptibilidade e vulnerabilidade ambiental definidos em ISDR (2004), como o conjunto de agentes predisponentes e as consequências referentes a interação do homem com o meio, respectivamente.

É importante ressaltar, a desestabilização do meio pode ocorrer tanto por processos naturais quanto por intervenções antrópicas (SPORL, 2004), podendo ocasionar uma situação de risco ambiental e socioeconômico. Assim, torna-se cada vez mais importante o planejamento físico-territorial, não apenas através de uma perspectiva socioeconômica, mas, sobretudo ambiental.

A intervenção humana progressiva, iniciada a 10.000 anos atrás, encontra-se, atualmente, intensificada pela apropriação indevida do ambiente. Como por exemplo, a exploração inadequada dos recursos naturais (ROSS, 1994), desconsiderando a sustentabilidade

ambiental, sem critérios mínimos de práticas conservacionistas de uso e manejo do solo (PEREIRA et al., 2002).

A Bacia Hidrográfica do Rio Japaratuba (BHRJ) é considerada a principal bacia geoeconômica do estado de Sergipe pela presença de um dos maiores campos petrolíferos terrestres (*onshore*) do Brasil. Apesar de apresentar uma baixa disponibilidade hídrica, tem usos múltiplos da água superficial intensos, destacando-se a utilização da água nas atividades de exploração mineral, principalmente de petróleo/gás e potássio, abastecimento humano e irrigação. Alterações significativas na qualidade da água do rio Japaratuba e afluentes vêm sendo verificadas ao longo dos anos, constituindo elementos de estudos diversos, que apontam para causas associadas a alterações de cobertura do solo e despejos de efluentes das atividades humanas (CRUZ et al., 2010).

As ferramentas de geotecnologias têm se consolidado como meio eficaz de caracterização dos sistemas hidrográficos, possibilitando, por exemplo, a identificação de fontes poluidoras significativas e o mapeamento de áreas susceptíveis e vulneráveis a processos erosivos (CRUZ, 2009).

Diante do exposto, o presente trabalho tem como objetivo geral avaliar a fragilidade ambiental potencial e emergente da Bacia Hidrográfica do Rio Japaratuba (BHRJ) no estado de Sergipe e posteriormente definir o grau de sensibilidade do meio ambiente em face dos fenômenos espontâneos e das intervenções humanas por meio do mapa ecodinâmico preconizado por Tricart (1977).

Para atingir o objetivo geral, foram definidos os seguintes objetivos específicos: (i) caracterizar elementos geológico-geomorfológicos e da cobertura do solo da área de estudo; (ii) elaborar mapas temáticos, representando as características hipsométricas, de declividade, erosividade da chuva, erodibilidade e cobertura do solo da BHRJ; (iii) avaliar as potencialidades e fragilidades ambientais da bacia através das características do meio físico; (iv) elaborar mapa das fragilidades ambientais emergentes e potenciais; (v) analisar o grau de sensibilidade do meio ambiente por meio da elaboração do mapa ecodinâmico.

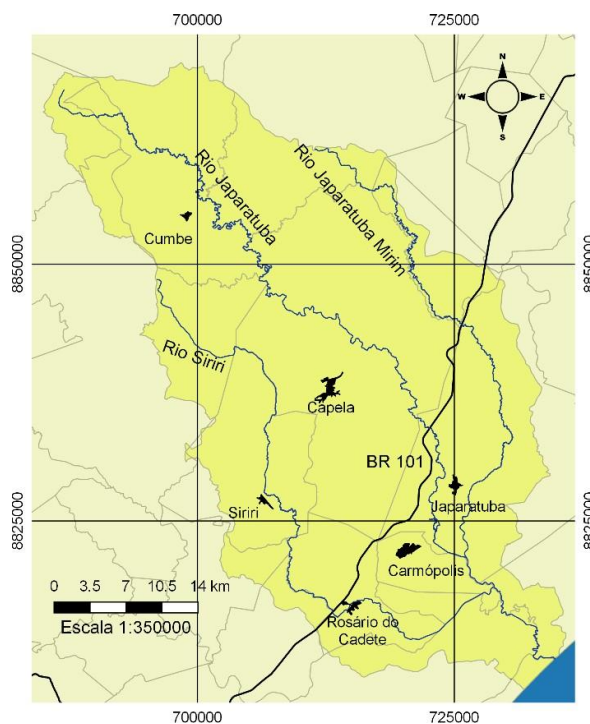
A relevância deste trabalho é caracterizar a BHRJ quanto sua fragilidade ambiental, compartimentá-la em unidades ecodinâmicas, fornecer um documento técnico-gerencial a partir de critérios de ordenação, planejamento e gestão territorial além de fornecer uma plataforma unificada de dados georreferenciados.

2. METODOLOGIA

2.1 - Área de estudo

A Bacia Hidrográfica do rio Japaratuba (BHRJ) possui uma área geográfica de 1.735km², equivalentes a 7,65% do território do estado de Sergipe e delimitada pelos meridianos 38°27'15" e 34°43'27" de longitude Oeste e paralelos 09°01'47" e 11°40'59" de latitude Sul (figura 1). Abrange 18 municípios, com uma população urbana com 122.879 habitantes e na área rural com 79.052 habitantes. O rio Japaratuba é o principal rio presente na Bacia do Rio Japaratuba, possui cerca de 113 km, tem sua nascente na Serra da Boa Vista na divisa entre os municípios de Feira Nova e Gracho Cardoso e deságua no Oceano Atlântico, no município de Pirambu. Os seus principais afluentes são o rio Japaratuba – Mirim e o rio Siriri.

Figura 1. Mapa de localização e acesso à Bacia Hidrográfica do Rio Japaratuba.



A escolha da BHRJ como área de estudo da pesquisa se deu pela importância com relação a sustentabilidade econômica e ambiental. As reservas hídricas superficiais e subterrâneas para o abastecimento público e as atividades minerárias e agropecuárias representam fatores estratégicos na socioeconomia do estado de Sergipe (SANTOS; NASCIMENTO, 2018a).

2.2 – Processamento digital

Todos os dados cartográficos necessários foram processados em ambiente unificado proporcionado pelo Banco de Dado Georreferenciado, na escala de 1:100.000, no programa de

geoprocessamento QGIS. Este é um Sistema de Informação Geográfica (SIG) de Código Aberto licenciado segundo a Licença Pública Geral (GNU).

Após selecionados o tema e a área de estudo, o primeiro procedimento foi a aquisição dos dados digitais de precipitação e hidrografia do Atlas Digital do Estado de Sergipe; dados SRTM Topodata; e cobertura do solo (BARROS, 2018). Estes dados foram importados para o software QGIS para geração dos mapas de erosividade, erodibilidade, cobertura do solo, declividade e hipsométrico.

O mapa de erosividade da chuva foi gerado por meio de dados de precipitação, reclassificados de forma que, entre uma classe e outra, haja um aumento de 200mm com relação a intensidade da precipitação anual. O mapa de erodibilidade da rocha/solo foi realizado pelas análises qualitativa (visual) e quantitativa (interpolador de Kernel) da densidade da rede de drenagem.

Aplicou-se o interpolador Kernel, de acordo com a metodologia de Santos e Nascimento (2018b), para delimitar, de forma objetiva, as concentrações das densidades de drenagem fluvial. Para aplicação desse método estatístico de estimação de curvas de densidade não-paramétrica ponderada pela distância a um valor central, foi necessário transformar as linhas de drenagem em pontos, ou seja, em um núcleo contendo do comprimento da linha de drenagem. A densidade é calculada com base no número de pontos de um local (pontos agrupados ou *clusters*). O produto gerado é monocromático, onde as áreas brancas e pretas indicam maior e menor densidade de drenagem, respectivamente. Para a melhor visualização e interpretação do mapa final, o produto foi classificado com cores distintas.

O mapa de cobertura do solo foi classificado por meio da adaptação da metodologia desenvolvida por Barros (2018) o qual avaliou diferentes técnicas de classificação automática de imagens do sensor OLI (*Operational Land Imager*) do satélite Landsat-8, para o mapeamento da cobertura de terra da Bacia hidrográfica do Rio Japaratuba. Tendo como resultado 10 classes de vegetação e uso do solo e a Máquina de Vetor de Suporte como técnica que apresentou maior precisão. A metodologia neste trabalho foi readaptada por uma simples associação das classes sem representatividade na escala de trabalho, gerando um novo mapa com 7 classes principais: florestas, praias e dunas, corpos d'água, manguezal, pastagem, cultivos agrícolas e áreas construídas.

Para confecção do mapa de classes de declividade, utilizou-se dos dados SRTM disponibilizado pelo Projeto Topodata. Para melhor compreensão das classes de declividade com a morfografia, as classes de declividade foram as definidas pela Embrapa (1979) descritas

na Tabela 1. Os dados SRTM também foram empregados para a realização do mapa hipsométrico, cujo intervalo altimétrico foi de 50 m.

Tabela 1 – Classes declividade Embrapa.

| Declividade (%) | Relevo |
|------------------------|------------------|
| 0 – 3 | Plano |
| 3 – 8 | Suave Ondulado |
| 8 – 20 | Ondulado |
| 20 – 45 | Forte Ondulado |
| 45 – 75 | Montanhoso |
| > 75 | Forte montanhoso |

Após a geração dos mapas supracitados, estes foram padronizados para a mesma projeção cartográfica e sistema de referência de coordenadas, UTM, SIRGAS2000 e fuso 24S. Depois de padronizados, realizou-se a ponderação das classes para cada mapa individualmente.

Para cada classe temática foi associado uma grade numérica, para que assim fosse possível realizar a integração dos mapas. Para isso foi associado um valor (peso) para cada classe temática de acordo com sua importância na elaboração do mapa de fragilidade ambiental. Os pesos variam de 0 a 1 e foram determinados de acordo com o grau de contribuição de cada classe diante da fragilidade do ambiental.

A seguir as tabelas com classes e os devidos pesos atribuídos:

Tabela 2 – Pesos estabelecidos para cada classe de declividade.

| Declividade (%) | Pesos |
|------------------------|--------------|
| 0 – 3 | 0,1 |
| 3 – 8 | 0,2 |
| 8 – 20 | 0,3 |
| 20 – 45 | 0,7 |
| 45 – 75 | 0,9 |
| > 75 | 1,0 |

Tabela 3 – Pesos estabelecidos para classes hipsométrica.

| Altimétrico (m) | Pesos |
|------------------------|--------------|
| 0 – 50 | 0,1 |
| 50 – 100 | 0,2 |
| 100 – 150 | 0,4 |
| 150 – 200 | 0,7 |
| 200 – 250 | 0,9 |
| 250 – 300 | 1,0 |

Tabela 4 – Pesos estabelecidos para classes de erodibilidade.

| Erodibilidade (m) | Pesos |
|--------------------|-------|
| Muito Baixo | 0,1 |
| Baixo | 0,2 |
| Medianamente Baixo | 0,4 |
| Medianamente Alto | 0,7 |
| Alto | 0,9 |
| Muito Alto | 1,0 |

Tabela 5 – Pesos estabelecidos para classes de erosividade.

| Precipitação (mm) | Pesos |
|-------------------|-------|
| 900 | 0,1 |
| 1100 | 0,2 |
| 1300 | 0,6 |
| 1500 | 0,8 |
| 1700 | 1,0 |

O mapa de uso do solo foi dividido em áreas naturais e áreas antropizadas, onde as áreas naturais apresentam baixo grau de influência na fragilidade da bacia e as áreas antropizadas um alto grau de influência, como mostra a Tabela 6.

Tabela 6 – Pesos estabelecidos para classes de cobertura do solo.

| Uso do solo | Pesos |
|--------------------|-------|
| Áreas naturais | 0,1 |
| Áreas antropizadas | 0,6 |

Antes de realizar a integração dos mapas, para geração do mapa de fragilidade ambiental, necessitou-se atribuir um peso a cada mapa. Para geração do mapa de fragilidade potencial, a ponderação dos mapas foi efetuada pelo Processo de Análise Hierárquica (*Analytical Hierarchy Process* – AHP).

O Processo de Análise Hierárquica – AHP foi desenvolvido na década de 1970, pelo Professor Thomas Saaty, na Escola Wharton da Universidade da Pensilvânia, esse método oferece a possibilidade de trabalhar considerações qualitativas e subjetivas, como é o caso das tomadas de decisões, combinadas com processamentos quantitativos (PINESE JÚNIOR, 2010 e AMARAL, 2006).

Para Amaral (2016) a metodologia AHP procura hierarquizar os objetivos por meio de comparações paritárias, ou seja, a preocupação está na obtenção de pesos numéricos para alternativas com relação a subobjetivos e para subobjetivos com relação a objetivos de ordem mais elevada.

Na hierarquização são definidas as variáveis que irão compor a matriz de comparação e, posteriormente, determina-se os níveis de importância de cada grupo, para depois avançar no

processo de pareamento entre as variáveis. Para possibilitar a construção da Matriz de Comparação Pareada Saaty (1977) propôs uma escala de pesos, seguindo a ordem de importância apresentada na Tabela 7.

Tabela 7 – Escala de comparadores com os respectivos pesos de importância. Fonte: Rezende (2017).

| Valores | Importância Mutuo |
|---------|---------------------------------------|
| 1/9 | Extremamente menos importante que |
| 1/7 | Muito fortemente menos importante que |
| 1/5 | Fortemente menos importante que |
| 1/3 | Moderadamente menos importante que |
| 1 | Igualmente importante a |
| 3 | Moderadamente mais importante que |
| 5 | Fortemente mais importante que |
| 7 | Muito fortemente mais importante que |
| 9 | Extremamente mais importante que |

De posse da escala de pesos (valores) para comparar as variáveis segundo seu grau de importância, constrói-se a matriz de comparação estabelecendo as importâncias mútuas (tabela 8). Essa é uma matriz quadrada e com valores recíprocos, sendo que na diagonal os valores são unitários, pois cada variável comparada a ela mesma é igual à unidade (SANTOS et al. 2010).

Tabela 8: Matriz de comparação pareada.

| Variáveis | Erosividade | Hipsométrico | Declividade | Erodibilidade |
|----------------------|-------------|--------------|-------------|---------------|
| Erosividade | 1 | 1/3 | 1/5 | 1/7 |
| Hipsométrico | 3 | 1 | 1/3 | 1/3 |
| Declividade | 5 | 3 | 1 | 1/3 |
| Erodibilidade | 7 | 3 | 3 | 1 |

Após o cálculo da matriz, esse estágio ainda demanda a verificação de consistências dos resultados obtidos, conforme critérios estabelecidos por Saaty (1977; 1980 *apud* PINESE JÚNIOR, 2010). A razão de consistência (CR) é utilizada para obter uma boa estimativa em relação aos pesos estatísticos resultantes do AHP, sendo necessário verificar se o valor do λ_{max} está próximo do número de variáveis utilizados para o cálculo. Segundo Saaty (1977; 1980 *apud* PINESE JÚNIOR, 2010) o valor de CR deve ser inferior a 0,10 (10%) para que haja consistência dos dados.

Logo, os resultados obtidos através do método AHP foram consistentes, com CR = 0,051 e $\lambda = 4,137$ como mostra a Figura 2. Obtendo os pesos demonstrados na Tabela 9 para cada mapa temático a ser utilizado na geração do mapa de fragilidade potencial.

Figura 2: Razão de consistência.

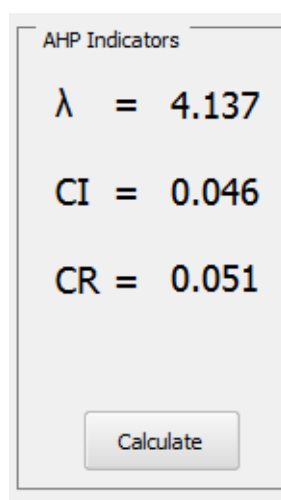


Tabela 9: Pesos para os mapas utilizados para geração do mapa de fragilidade potencial.

| Mapa | Pesos |
|---------------|-------|
| Erosividade | 0,057 |
| Hipsométrico | 0,145 |
| Declividade | 0,281 |
| Erodibilidade | 0,516 |

O fator erodibilidade, por levar em consideração as características intrínsecas do solo/rocha, foi o que teve o maior grau de importância na determinação da fragilidade potencial. Quanto ao fator erosividade da chuva, há grande variabilidade temporal e espacial na precipitação sobre a BHRJ, justificada pela variação climática dessa região. No sentido litoral - interior tem-se o clima tropical, passando pelo agreste e chegando ao sertão sergipano. As temperaturas são elevadas durante todo o ano, caracterizada por períodos secos e chuvosos bem definidos. Diante da distribuição heterogênea da precipitação e dos grandes períodos de seca enfrentados pelos municípios, principalmente aqueles localizados no sertão sergipano, o fator erosividade da chuva foi o que teve menor grau de influência na determinação da fragilidade potencial.

Já para geração do mapa de fragilidade emergente a ponderação foi efetuada de forma empírica tendo o resultado demonstrado na Tabela 10. O fator cobertura do solo indica as áreas onde o equilíbrio dinâmico foi rompido, provocando situações de risco e as áreas onde a estabilidade permanece, trazendo a interferência antrópica diante da ecodinâmica da BHRJ, justificando seu maior grau de influência na fragilidade emergente da BHRJ.

Tabela 10: Pesos para mapas utilizados para geração do mapa de fragilidade emergente.

| Mapa | Pesos |
|---------------------------------|-------|
| Fragilidade Ambiental Potencial | 0,6 |
| Cobertura do solo | 0,9 |

Após a ponderação foi possível realizar a integração dos mapas por meio da álgebra de mapas no QGIS. Através da calculadora de *raster* os mapas de erodibilidade, erosividade, declividade e hipsométrico foram integrados (equação 1) a fim de gerar o mapa de fragilidade ambiental potencial. Para geração do mapa de fragilidade ambiental emergente realizou-se a integração do mapa de fragilidade ambiental potencial com o mapa de cobertura do solo (equação 2) também por meio da álgebra de mapas. Através da reclassificação do mapa de fragilidade ambiental emergente, obteve-se o mapa de unidades ecodinâmicas.

$$\text{Fragilidade Potencia} = (\text{erosividade} \times 0,516) \times (\text{Declividade} \times 0,281) \times (\text{Hipsométrico} \times 0,145) \times (\text{Erosividade} \times 0,057) \quad \text{Equação 1}$$

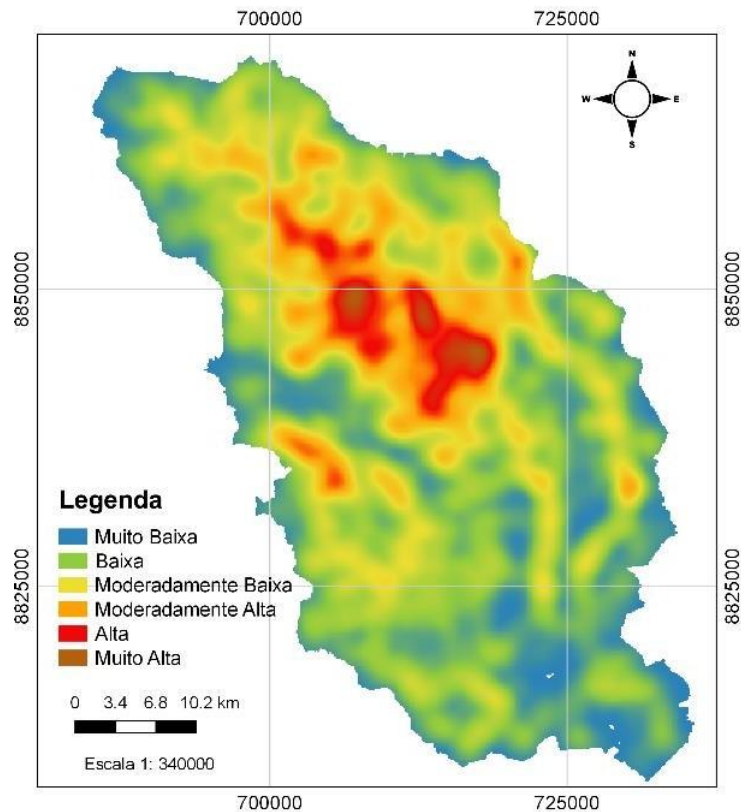
$$\text{Fragilidade Emergente} = (\text{Fragilidade potencial} \times 0,6) \times (\text{Cobertura do solo} \times 0,9) \quad \text{Equação 2}$$

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 - Erodibilidade

A erodibilidade, determinada nessa pesquisa pela análise da densidade de drenagem, constitui os atributos intrínsecos da susceptibilidade da rocha e/ou solo à erosão hídrica. A relação entre a densidade de drenagem e a permeabilidade é inversamente proporcional. Desta forma, a maior densidade de drenagem representa a maior impermeabilidade da superfície do terreno, ocasionando o maior escoamento superficial. Consequentemente maior é a erodibilidade da rocha/solo (erosão laminar e/ou erosão linear), causando o assoreamento dos cursos e reservatórios d'água pela deposição dos sedimentos (NASCIMENTO; PETTA, 2008). A aplicação do interpolador kernel possibilitou espacializar e compartimentar seis classes de erodibilidade pela densidade de drenagem na área de estudo. Desta forma, foram definidas as classes muito baixa, baixa, moderadamente baixa, moderadamente alta, alta e muito alta (Figura 3).

Figura 3. Mapa de Erodibilidade.



Estas classes são caracterizadas por peculiaridades intrínsecas geológico-geomorfológicas discutidas em Santos e Nascimento (2019). De acordo com estes autores, as rochas dos domínios Vaza-Barris e Macuré subjacentes aos planossolos e podzólicos da Faixa de Dobramento Sergipano das regiões semiárida e agreste ocorrem nas maiores declividades e altitudes. Por outro lado, os sedimentos pleistocênicos-holocênicos das planícies costeiras e flúvio-lagunares e os tabuleiros costeiros neogênicos dos arenitos do Grupo Barreiras estão amplamente distribuídos nos espodossolos e neossolos quartzarênico e gleissolos.

As áreas de densidade de drenagem muito alta, alta e moderadamente alta apresentam substratos formados por materiais consolidados (rochas) e/ou inconsolidados (solos) de baixa permeabilidade e alto escoamento superficial das águas plúvio-fluviais, o que favorece o processo erosivo. Essas áreas são fontes de sedimentos que irão se depositar nos lagos, represas, canais fluviais e no oceano Atlântico. As classes de muito alta e alta densidade de drenagem estão concentradas na região central da bacia. A classe medianamente alta está amplamente distribuída por toda a bacia hidrográfica.

A sistemática adotada mostrou-se eficiente para compartimentar a BHRJ quanto a sua potencialidade erosiva, podendo ser utilizada como ponto de partida para elaboração de um manejo do uso e ocupação do solo e dos recursos hídricos superficiais adequado. A área de estudo se apresenta heterogênea com relação aos processos erosivos, indicando que há perda do solo e assoreamento dos recursos hídricos superficiais.

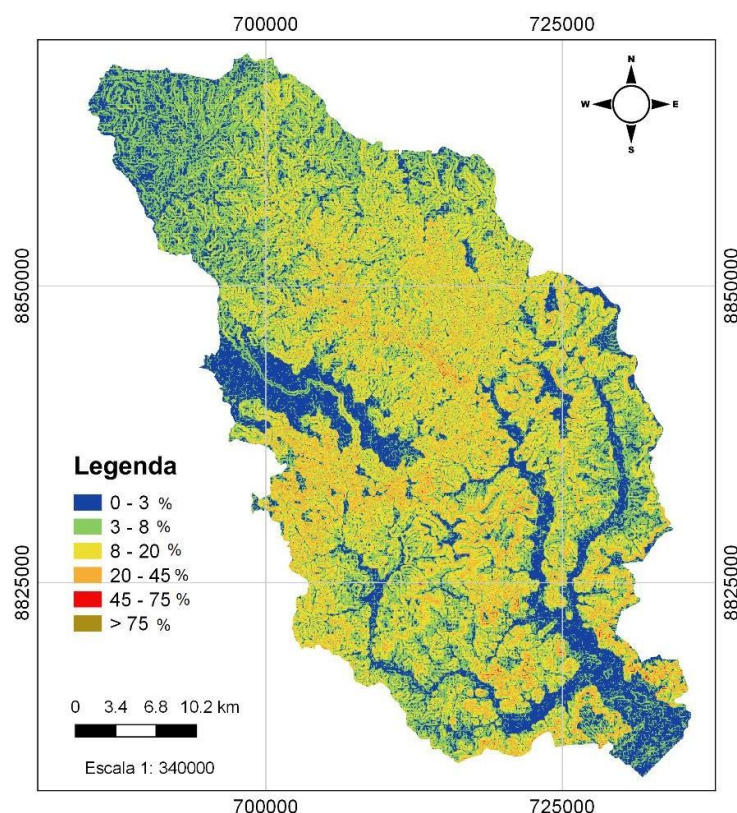
A diferença da erodibilidade da área de estudo é decorrente das distintas características climatológica, litológica, geomorfológica, pedológica e cobertura da terra. Apesar de ser uma dinâmica superficial geomorfológico-geológico natural, a intervenção antrópica intensifica o processo erosivo, comprometendo a quantidade e qualidade dos recursos hídricos superficiais. Essa intensificação ocorre principalmente nas regiões onde as vegetações nativas foram convertidas em pastagens e cultivos agrícolas.

3.2 - Declividade

De acordo com Lepsch (1983) em relevos planos ou suavemente ondulados, a energia hidráulica é menor, escoando com menor intensidade e favorecendo a infiltração da água. Nesta situação, predominam os processos pedogenéticos. O contrário ocorre em locais com declividade acentuada, no qual o escoamento superficial é maior que a infiltração, prevalecendo os processos morfogenéticos, como a erosão. Quanto maior a declividade, mais rápido ocorre a transformação da energia potencial em energia cinética acarretando numa maior velocidade de escoamento da água aumentando sua capacidade de transporte.

De acordo com a figura 4, grande parte da área de estudo apresente declives moderados, predominando as classes de declividade de 8 a 20% e 20 a 45%, caracterizadas por relevos ondulados a forte ondulados. Essas classes possuem susceptibilidade intermediária aos processos erosivos, quando comparadas as demais classes declividades. No entanto, possuem alta vulnerabilidade à erosão em decorrência do seu intenso uso pelo homem.

Figura 4: Mapa de Classe de Declividade da BHRJ.



As áreas com relevo plano a suave ondulado, representados pelas classes de declividade de 0 a 3% e 3 a 8%, englobam o entorno dos cursos d'água e são áreas receptoras de sedimentos, predominando o processo de assoreamento dos recursos hídricos superficiais. As áreas com relevo montanhoso e forte montanhoso, com declividades de 45 a 75% e maiores que 75%, são áreas pontuais e pouco expressivas na área de estudo. No entanto, são as que apresentam alta susceptibilidade aos processos erosivos.

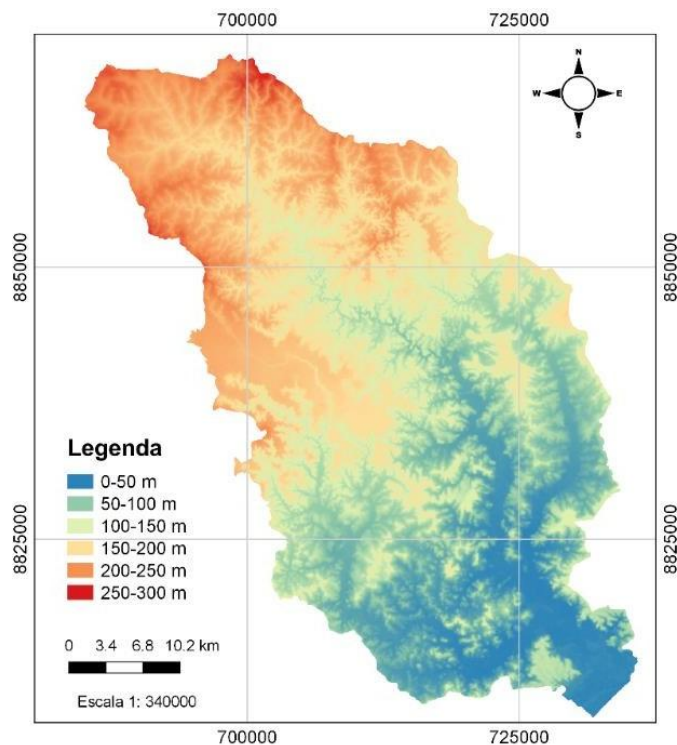
3.3 - Hipsometria

O comprimento da encosta, inferido a partir do mapa hipsométrico, é de grande importância na perda de solo, uma vez que quanto maior for a sua extensão maior é a velocidade e a carga de água de escoamento superficial, e consequentemente, o volume de material carregado encosta abaixo.

Desta forma, analisando a Figura 5, é esperado que as áreas que possuem maior capacidade e quantidade de transporte de partículas do solo pela erosão estejam localizadas à montante da BHRJ, visto que são regiões que apresentam maior amplitude altimétrica, proporcionando maior velocidade de escoamento superficial da água, prevalecendo os processos morfogenéticos. Por outro lado, as regiões à jusante da bacia, por apresentarem menor valores de amplitude altimétrica, são áreas susceptíveis ao depósito dos sedimentos, onde prevalecem os processos pedogenéticos. Pela análise da Figura 5 com as figuras 3 e 4, constata-

se que as áreas mais susceptíveis à erosão estão localizadas em altitudes intermediárias, entre 100 e 200 m.

Figura 5: Mapa Hipsométrico da BHRJ.



3.4 – Erosividade da chuva

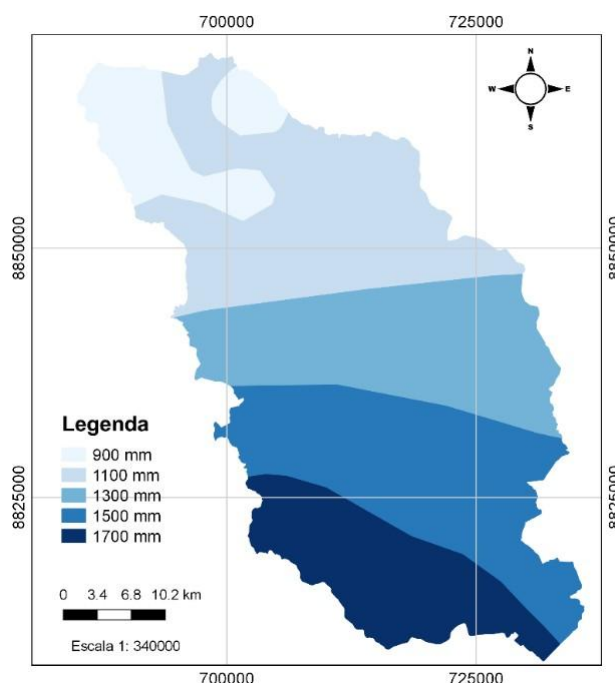
A distribuição das precipitações influencia significativamente no processo de erosão, pois quanto maior a intensidade pluviométrica, maior a capacidade erosiva da água da chuva. Parte das chuvas infiltra na subsuperfície para manter as reservas de água subterrânea, parte retorna à atmosfera por efeito da evaporação e transpiração, e parte escoar pela superfície. O escoamento pode ser difuso ou não concentrado, ocasionando a erosão laminar ou em lençol. Neste tipo de erosão, a camada fértil do solo é carregada. Outro tipo de escoamento é o concentrado, ocorre em forma de finos filetes ou riachos trançados, formando uma rede de ramificações (erosão linear), que recobre as encostas originando os sulcos, que podem desenvolver-se em ravinas e boçorocas. Nestas, a erosão interna (*pipeng*) é fator essencial, e a incisão linear em profundidade só cessa ao encontrar o nível de base (lençol freático). A partir daí a continuidade da boçoroca se dá em comprimento em direção a montante e ramificações laterais.

Analisando a Figura 6, observou-se uma tendência de aumento nas lâminas precipitadas no sentido montante - jusante da BHRJ, condizente com as características climáticas predominantes no sertão, agreste e litoral.

O inverso ocorre com a hipsometria (figura 5), a medida que a aumenta a amplitude altimétrica a intensidade pluviométrica diminui. Assim, nos locais que apresentam menor comprimento de encosta a intensidade pluviométrica é maior, diminuindo a velocidade de escoamento da água da chuva, favorecendo a infiltração, prevalecendo, dessa forma, os processos pedogenéticos.

No entanto, as regiões que apresentam intensidade da chuva e hipsometria intermediárias, localizadas no centro da bacia, são consideradas áreas potencialmente geradoras de sedimento, visto que são caracterizadas por períodos chuvosos curtos, bem definidos, intensos e concentrados, aumentando sua capacidade erosiva.

Figura 6: Mapa de Erosividade da Chuva.



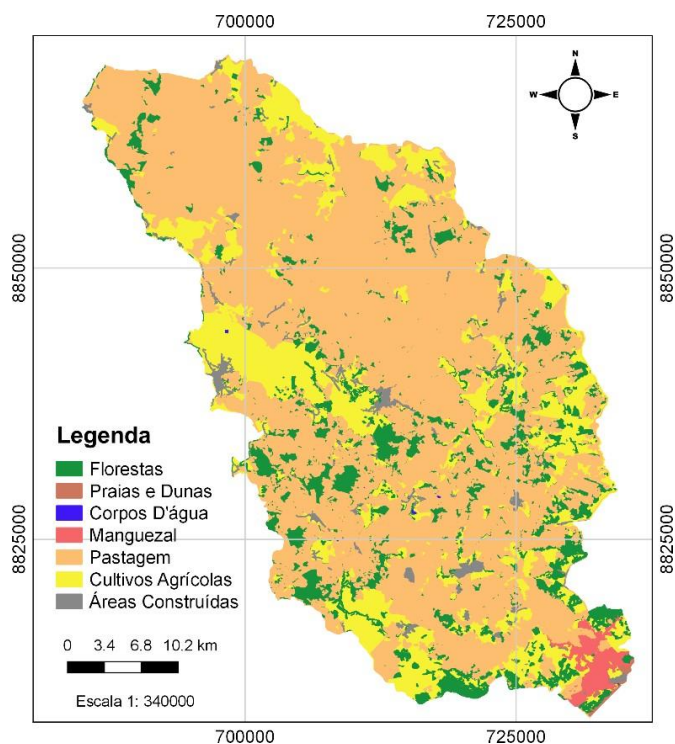
3.5 - Cobertura do solo

Segundo Crepani et al. (2001) e Guerra et al. (1999) a ação da cobertura vegetal na proteção dos solos se dá de várias formas: (a) evita o impacto direto das gotas de chuva; (b) impede a compactação do solo, processo que diminui a capacidade de absorção de água; (c) aumenta a capacidade de infiltração do solo pela difusão do fluxo de água da chuva; e (d) suporta a vida silvestre, aumentando a porosidade a permeabilidade do solo.

O mapa de cobertura do solo reflete as formas de apropriação e transformação da natureza pela sociedade. Ao observar a Figura 7, percebe-se a supressão da cobertura vegetal convertida, principalmente, em pastagem e cultivos agrícolas. A antropização da área de estudo

acarreta como consequência a aceleração dos processos erosivos, visto que, os solos desprotegidos da vegetação recebem o impacto direto das gotas da chuva, desagregando as partículas, facilitando o seu transporte.

Figura 7: Cobertura do Solo. Fonte: Adaptado de Barros (2018).



A mata ciliar do rio Japarutuba foi substituída, em sua maioria, pela agricultura e pastagem, o que intensificou o processo erosivo. Visto que é responsável pelo abastecimento hídrico de uma boa parte da população, faz-se necessário o controle do assoreamento, visando evitar a redução da qualidade, capacidade e do tempo de vida útil dos reservatórios. É importante ressaltar que muitos dos lagos são temporários, principalmente no semiárido, e a recorrência de anos de seca aumenta o impacto ambiental e socioeconômico, demandando técnicas de gestão ambiental adequadas, principalmente nas áreas fontes de sedimentos e nos corpos hídricos susceptíveis ao assoreamento.

As áreas de vegetação natural ainda presentes são diminutas em relação às áreas suprimidas, e devem ser preservadas, evitando assim uma degradação ainda maior da bacia. Além da aceleração dos processos erosivos, a apropriação antrópica inadequada acarreta o comprometimento da qualidade das águas, por meio do uso excessivo de fertilizantes e pesticidas, lançamento de efluentes não tratados e por meio da poluição industrial.

3.6 - Fragilidade Ambiental Potencial

Através da integração entre a declividade, hipsometria, erosividade da chuva e erodibilidade, foi possível obter o mapa de fragilidade ambiental potencial da bacia hidrográfica do rio Japarutuba (figura 8), o qual foi compartimentado em seis classes, representando os diferentes graus de fragilidade.

Por meio da Tabela 11, pode-se observar que 78,78% da área de estudo apresenta entre muito baixa e moderadamente baixa fragilidade ambiental potencial. As áreas de maior concentração dessas classes localizam-se em regiões de baixa declividade, baixa erodibilidade e alta precipitação. São áreas propícias ao assoreamento de sedimentos gerados nas áreas de maior fragilidade ambiental.

Figura 8: Mapa de Fragilidade Ambiental Potencial da BHRJ.

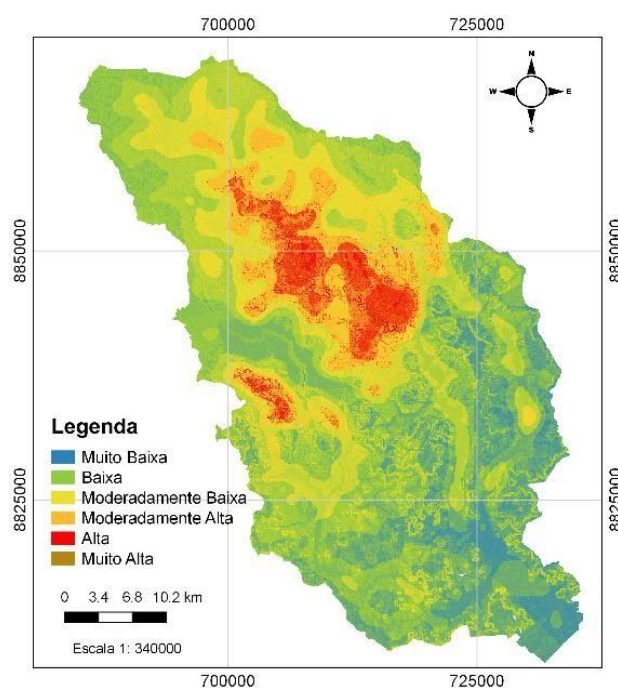


Tabela 11. Áreas por classe de Fragilidade Ambiental Potencial.

| Classe | Área (%) | Área (Km²) |
|---------------------|----------|------------|
| Muito Baixa | 18,94 | 328,61 |
| Baixa | 22,94 | 398,01 |
| Moderadamente Baixa | 36,90 | 640,22 |
| Moderadamente Alta | 12,35 | 214,27 |
| Alta | 8,54 | 148,17 |
| Muito Alta | 0,33 | 5,72 |

As áreas que apresentam fragilidade potencial moderadamente alta e alta, somam um total de 20,89% da bacia, sofrem muita influência das áreas que apresentaram os maiores índices de erodibilidade e declividade, apresentando assim, um alto potencial erosivo. À medida que a declividade aumenta, aumenta a velocidade de escoamento da água diminuindo sua

infiltração no solo. Nessas regiões, concentradas na montante da bacia, os processos morfogênicos são mais intensos, produzindo grande quantidade de sedimento.

As áreas que apresentam fragilidade potencial muito alta são pouco expressivas e visualmente imperceptíveis no mapa de fragilidade potencial devido a sua escala, e estão concentradas no interior da classe de fragilidade potencial alta. Dessa forma, representam uma alta susceptibilidade aos processos exógenos indesejáveis, sendo imperativo mantê-las sem intervenção antrópica.

Por meio da análise conjunta dos dados considerados importantes para determinar a fragilidade potencial ambiental, foi possível notar a interação que há entre os fatores utilizados. Por exemplo, as áreas que possuem alta fragilidade potencial ambiental apresentam classes altas de erodibilidade e declividade ($> 75\%$), altimetria que varia entre 100 a 200 m e precipitação entre 110 e 150 mm. Como definido na metodologia, a precipitação e altimetria são hierarquicamente inferiores à erodibilidade e à declividade na determinação do mapa de fragilidade potencial.

3.7- Fragilidade ambiental emergente

Ao integrar o mapa de fragilidade ambiental potencial com o mapa de cobertura do solo, tem-se como resultado o mapa de fragilidade ambiental emergente (Figura 9).

Figura 9: Mapa de Fragilidade Ambiental Emergente da BHRJ.

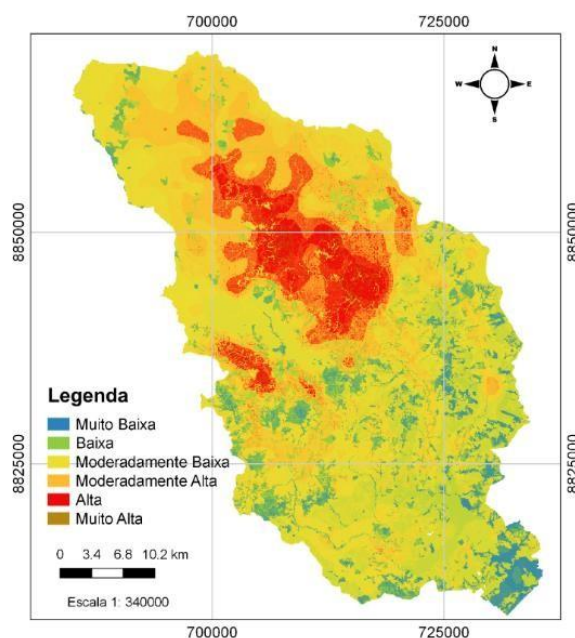
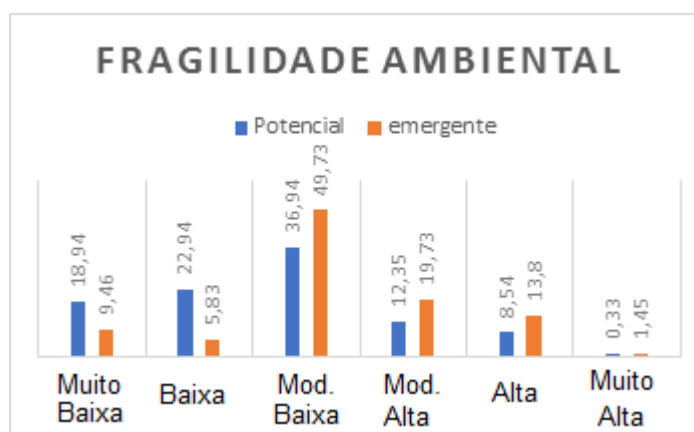


Figura 10. Gráfico das áreas por classe de Fragilidade Ambiental Emergente e Potencial.



Analisando as figuras 9 e 10, pode-se perceber que, com a ação antrópica, as áreas com grau de fragilidade muito baixa e baixa diminuíram. Como consequência houve um aumento significativo nas áreas com grau de fragilidade moderadamente baixa, moderadamente alta e alta. Vale salientar que as áreas com baixa susceptibilidade aos processos exógenos são capazes de sustentar as apropriações do homem, no entanto se faz importante a existência de um planejamento Ambiental territorial capaz de adequar os empreendimentos às condições inerentes do terreno capazes de sustentá-los.

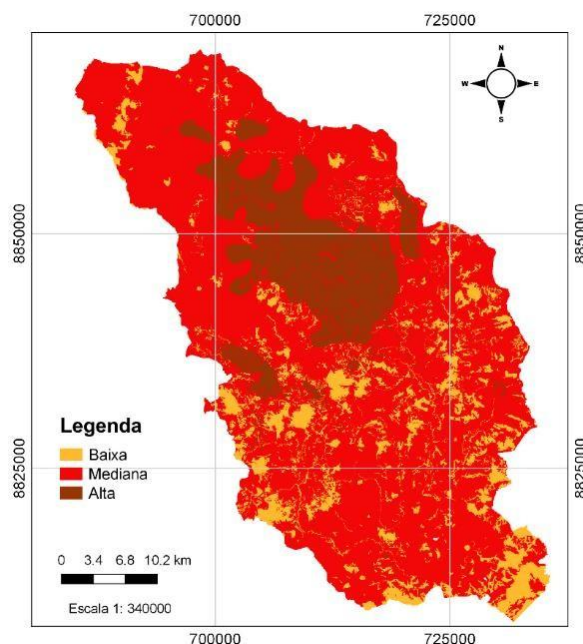
As áreas de pastagem e de cultivos agrícolas foram as que mais influenciaram no aumento da fragilidade na área de estudo. As áreas onde houve a manutenção da cobertura natural permaneceram com baixo grau de fragilidade. Desta forma, a exploração humana dos recursos naturais interfere no equilíbrio dinâmico da BHRJ de forma negativa, aumentando assim a fragilidade ambiental da área.

É importante ressaltar que não se pode analisar quantitativamente a Figura 9 separadamente da Figura 9 aliada a Figura 7 visto que, as áreas com classes muito baixa e baixa fragilidade potencial, por exemplo, são compostos por mangues e dunas quaternárias, consideradas área de proteção permanente segundo o Código Florestal.

3.8 - Unidades Ecodinâmicas

Para possibilitar a divisão da área de estudo em unidades ecodinâmicas, de acordo com os conceitos de Tricart (1977), o mapa de fragilidade ambiental emergente foi reclassificado em 3 classes, como mostra a Figura 11. A reclassificação deu-se por meio da integração das classes de muita baixa e baixa fragilidade emergente gerando a classe baixa fragilidade, a integração das classes medianamente baixa e medianamente alta fragilidade emergente, gerando a classe média fragilidade e a integração das classes alta e muito alta fragilidade emergente, gerando a classe alta fragilidade.

Figura 11: Mapa de Unidades Ecodinâmicas.



As áreas de baixa fragilidade representam os meios estáveis, representando processos geodinâmicos externos de baixa intensidade, e caracterizadas pelas seguintes condições: (i) cobertura vegetal, controlando os processos mecânicos da morfogênese, predominando os processos pedogenéticos; e (ii) dissecação moderada, com evolução lenta dos processos morfogenéticos, possibilitando a formação lenta e gradual dos solos. Estes meios estáveis representam 13,44% da área de estudo e são áreas onde prevalecem suas coberturas naturais, composta por florestas, mangues, praias e dunas, as quais devem ser preservadas para assegurar a estabilidade da bacia.

As áreas que apresentam mediana fragilidade representam, segundo Tricart (1977), meios *intergrades*. O meio *intergrade* representa uma área de transição que permitem a passagem gradual do meio estável para o meio instável. O que caracteriza esse meio é equilíbrio entre a morfogênese e a pedogênese, o qual pode ser facilmente rompido. São meios delicados e suscetíveis aos processos exógenos indesejáveis, como a erosão, transformando-os em meios instáveis. Estes meios representam 71,45% da BHRJ e estão distribuídos por toda área, são compostos por pastagens, cultivos agrícolas e áreas construídas.

É importante evitar a transição entre os meios intergrades e os meios instáveis, a partir, por exemplo, a adoção de práticas conservacionistas, como implantação de sistemas agroflorestais, preservação e recomposição da cobertura vegetal ciliar e reflorestamento com espécies nativas. A vegetação nativa desempenha papel na estabilização das encostas, no equilíbrio dos mananciais, na proteção dos solos, na dinâmica externa e interna das águas e

possibilita uma melhor capacidade de suporte das pastagens e cultivos agrícolas e seu desmatamento compromete a qualidade e quantidade das águas dos rios e acelera os processos de erosão e assoreamento. É evidente que, para a recomposição da vegetação ciliar e reflorestamento com espécies nativas e melhoria da qualidade hídrica, faz-se necessário uma ação conjunta de envolvimento político, agricultores e a população em geral.

As áreas que apresentam alta fragilidade representam meios instáveis, onde a morfogênese é o processo predominante, ou seja, são áreas mais susceptíveis aos processos erosivos. Os meios altamente instáveis representam 15,11% da BHRJ e estão concentrados a montante da bacia. São áreas de alta sensibilidade, concentradas em regiões de maiores declividades e erodibilidade, onde os processos morfogenéticos são mais intensos e agravados pela supressão da vegetação natural, convertidas em pastagem.

Tabela 12: Áreas das Unidades Ecodinâmicas.

| Meios | Área (%) | Área (Km²) |
|--------------------|----------|------------|
| Estáveis | 13,44 | 233,18 |
| <i>Intergrades</i> | 71,45 | 1239,66 |
| Instáveis | 15,11 | 262,16 |

O resultado da metodologia utilizada está em consonância com a realidade de diversas Bacias Hidrográficas brasileiras, ao expor que a desarticulação entre desenvolvimento econômico, em detrimento da sustentabilidade ambiental tem ocasionado a instabilidade das paisagens.

4. CONCLUSÃO

O objetivo geral do trabalho foi alcançado a partir da geração dos mapas de fragilidade ambiental potencial e emergente e da divisão da Bacia Hidrográfica do Rio Japarutuba (BHRJ) em unidades ecodinâmicas. Os produtos gerados servirão de subsídio para direcionar ações de planejamento territorial ambiental, possibilitando assim a implantação de um desenvolvimento em consonância com as características inerentes do terreno.

A intervenção antrópica aumentou significativamente a fragilidade ambiental da BHRJ, mostrando a urgência da busca por alternativas sustentáveis para o reestabelecimento do equilíbrio geodinâmico exógeno, a partir da adoção de práticas conservacionistas. Fator que também reflete na ecodinâmica da bacia, visto que a maior parte do território (71,45%) encontra-se inserido no meio *intergrade*, o qual representa uma área de transição entre regiões estáveis e instáveis.

Pode-se perceber a importância da manutenção da cobertura natural do solo, a qual desempenha papel na estabilização das encostas, no equilíbrio dos mananciais, na proteção dos

solos, na dinâmica externa e interna das águas e possibilita uma melhor capacidade de suporte das pastagens e agricultura.

No que diz respeito à utilização de um software livre para tratar a informação geográfica, como é o caso do QGIS, cabe destacar que seu uso se mostrou muito adequado, ágil e útil na geração dos resultados finais expostos no presente estudo. O uso da técnica AHP somada a álgebra de mapas para elaboração do mapeamento da fragilidade ambiental se mostraram eficazes, uma vez que o AHP minimiza a ocorrência de erros na determinação dos pesos para as variáveis utilizadas e a álgebra de mapas realizada todo processo de integração, o que facilitou a elaboração do mapeamento.

Logo, a sistemática adotada foi promissora, gerando produtos cartográficos finais capazes de traduzir a realidade ambiental de maneira simples e de fácil compreensão, os quais podem ser considerados documentos técnicos-gerenciais de subsídio de manejo, uso e ocupação do solo e dos recursos hídricos superficiais para a área de estudo.

REFERÊNCIAS

- AMARAL, J.F.S. **Aplicação do processo analítico hierárquico como suporte à decisão na produção bovina e corte na região de Betim/MG**. Belo Horizonte, Universidade Fumec, Faculdade de Ciências Empresariais, 2006. (Dissertação de Mestrado)
- ARRUDA, Inácio. **A Reforma urbana e o futuro das cidades**. Brasília: Câmara dos Deputados, 2000.
- BARROS, G. V. P. de. **Análise comparativa entre técnicas de classificação de imagens do LANDSAT-8 da cobertura de terra na Bacia Hidrográfica do Rio Japaratuba-SE**. 2018, 31f. Instituto de Ciências Exatas e da Terra, Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão, 2018.
- BRANCO, N. PAIVA, J. B. D. PAIVA, E. M. C. D. Produção de sedimentos da bacia hidrográfica do Arroio Vacacaí Mirim – avaliação preliminar. In: CONGRESO NACIONAL DEL ÁGUA, 17, SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DEL CONOSUR, 2, 1998, Santa Fé. **Anais...** Santa Fé, p. 5403, 1998.
- CREPANI, E.; MEDEIROS, J. S.; HERNANDEZ FILHO, P.; FLORENZANO, T. G.; DUARTE, V.; BARBOSA, C. C. F. **Sensoriamento remoto e geoprocessamento aplicados ao Zoneamento Ecológico-Econômico e ao ordenamento territorial**. São José dos Campos: INPE, 2001, 103 p. (INPE-8454- RPQ/722).
- CRUZ, M. A. S. Caracterização da Bacia do Rio Japaratuba em Sergipe com Auxílio de Geotecnologias. In: SEMINÁRIO DE RECURSOS HÍDRICOS DA BACIA HIDROGRÁFICA DO PARAIBA DO SUL: RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS, SERVIÇOS AMBIENTAIS E SUSTENTABILIDADE, 2, 2009, Taubaté, **Anais...** Taubaté: IPABHi, 2009. p.617-624.
- CRUZ, M. A. S. AMORIM, J. R. A. de. ALMEIDA, R. de. ARAGÃO J. A. P. de. SOUZA, A. M. B. JESUS, J. S. de. **Caracterização hidrológica e geomorfológica da Bacia do rio Japaratuba em Sergipe**: informações preliminares. Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros, 2010.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos (Rio de Janeiro, RJ). **Súmula da 10**. Reunião Técnica de Levantamento de Solos. Rio de Janeiro, 1979. 83p.

GUERRA, A. J. T.; SILVA, A. S.; BOTELHO, R. G. M. **Erosão e Conservação dos Solos: Conceitos, Temas e Aplicações**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1999. 340p.

ISDR – International Strategy for Disaster Reduction. **Living with risk**: A global review of disaster reduction initiatives. Geneva: World Meteorological Organization and the Asian Disaster Reduction Center, 2004. Disponível em: http://www.unisdr.org/eng/about_isdr/bd-lwr-2004-eng.htm. Acesso em 13 dez 2018.

LEPSCH, I. F. **Manual para levantamento utilitário do meio físico e classificação de terras no sistema de capacidade de uso**. Campinas: SBCE/Ministério da Agricultura, 1983.

NASCIMENTO, P. S. R.; PETTA, R. A. Confecção do mapa de densidade de drenagem através de geotecnologias visando definir a vulnerabilidade aos processos erosivos na sub-bacia do baixo Piracicaba (SP). **Estudos Geográficos**, v.6, n., p.19–34, 2008.

PEREIRA, E. A.; SOUSA, A. P.; CAMPOS, S. Mapeamento do uso do solo nas sub-bacias dos córregos São José e Água do Ventura, Bauru (SP). **Revista Irriga**, v.7, n.3 p. 191-200, 2002.

PINESE JÚNIOR, J.F. **Aplicação do método de análise hierárquica – AHP – para a determinação da vulnerabilidade ambiental da bacia hidrográfica do Rio Piedade, MG**. Uberlândia: UFU, 2010. (Monografia).

REZENDE, P.S.; et al. Construção de modelo e utilização do método de Processo Analítico Hierárquico – AHP para mapeamento de risco á inundação em área urbana. **Revista Caminhos da Geografia**, 2017.

ROSS, J. L. S. Análise Empírica da Fragilidade dos Ambientes Naturais e Antropizados. **Revista do Departamento de Geografia**, v. 8, p.63-74, 1994.

SAATY, T.H. A scaling method form priorities in hierarquical structures. **Journal of Mathematical Psychology**, v.15, n. 3, p. 234-281, 1977. [https://doi.org/10.1016/0022-2496\(77\)90033-5](https://doi.org/10.1016/0022-2496(77)90033-5)

SANTOS, A.R.; LOUZADA, F.L.R.O.; EUGENIO, F.C. **ARCGIS 9.3 total: aplicações para dados espaciais**. Alegre, ES: CAUFES, 2010. 184 p.

SANTOS, L. A. N.; NASCIMENTO, P. S. R. Delimitação do potencial erosivo na Bacia Hidrográfica do Rio Japarutuba (SE) pela densidade de drenagem fluvial. In: ENCONTRO DE RECURSOS HÍDRICOS EM SERGIPE, 11, 2018, Aracaju, **Anais...** São Cristovão: UFS, 2018a, p. 96-103.

SANTOS, L. A. N.; NASCIMENTO, P. S. R. Compartimentação da Bacia Hidrográfica do Rio Japarutuba (SE) através aa Densidade de drenagem fluvial. In: CONGRESSO BAIANO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 5, 2018, Juazeiro. **Anais...** Juazeiro, 2018b, p. 1336-1341.

SANTOS, L. A. N.; NASCIMENTO, P. S. R. **Espacialização da susceptibilidade erosiva a partir da densidade de drenagem pelo interpolador Kernel**. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 14, 2019. Santos, 2019 **Anais...** São José dos Campos, 2019 (No Prelo).

SPORL, C; ROSS, J. L. S. Análise comparativa da fragilidade ambiental com aplicação de três modelos. **Espaço e Tempo**, v.15, p. 39-49, 2004.

TRICART, J. **Ecodinâmica**. Rio de Janeiro: FIBGE/SUPREN , 1977.